

1/5/2 (Item 2 from file: 351)  
DIALOG(R) File 351: Derwent WPI  
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010175293 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1995-076546/199511  
XRPX Acc No: N95-060790

Wire structure for superconducting cable - has superconducting powder pulverised and held in silver tubes which are formed together in twisted manner within silver matrix

Patent Assignee: JAPAN SCI & TECHNOLOGY CORP (NISC-N); SUMITOMO ELECTRIC IND CO (SUME); SHINGIJUTSU JIGYODAN (SHKJ)

Inventor: OHKURA K; SATO K

Number of Countries: 009 Number of Patents: 007

Patent Family:		Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
Patent No							
EP 638942	A1	19950215	EP 94112038	A	19940802	199511	B
JP 7105753	A	19950421	JP 93336852	A	19931228	199525	
US 6158106	A	20001212	US 94282347	A	19940729	200067	
			US 96739908	A	19961030		
EP 638942	B1	20010613	EP 94112038	A	19940802	200134	
DE 69427439	E	20010719	DE 627439	A	19940802	200148	
			EP 94112038	A	19940802		
US 6272732	B1	20010814	US 94282347	A	19940729	200148	
			US 96739908	A	19961030		
			US 2000640527	A	20000817		
JP 3356852	B2	20021216	JP 93336852	A	19931228	200302	

Priority Applications (No Type Date): JP 93336852 A 19931228; JP 93191374 A 19930802; JP 93198626 A 19930810

Cited Patents: 01Jnl.Ref; EP 377294; EP 503525; FR 2119205; FR 2309986; JP 4155711; US 3829964; US 3835242

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
EP 638942	A1	E	17	H01L-039/14	
Designated States (Regional): CH DE FR GB IT LI SE					
JP 7105753	A		10	H01B-012/10	
US 6158106	A			H01L-039/24	Div ex application US 94282347
EP 638942	B1	E		H01L-039/14	
Designated States (Regional): CH DE FR GB IT LI SE					
DE 69427439	E			H01L-039/14	Based on patent EP 638942
US 6272732	B1			H01L-039/24	Div ex application US 94282347
					Div ex application US 96739908
					Previous Publ. patent JP 7105753
JP 3356852	B2		9	H01B-013/00	

Abstract (Basic): EP 638942 A

The long oxide superconducting wire for a coil or cable is formed in a twisted manner. The superconducting powder is heat treated in stages at high temperature and different pressures. After each heating stage the material is pulverised, eventually to sub-micron level. The material is filled into a silver pipe and drawn to 1 mm to form a strand.

A number of strands are placed together and inserted into another silver pipe. The 61 filament wire was drawn to a diameter of 1mm. After drawing the wire (1) is twisted, drawn and rolled and heat treated giving a wire in a silver matrix (2).

ADVANTAGE - Provides a superconducting wire which has low AC current losses at a high operational frequency.

Dwg.4/10

Title Terms: WIRE; STRUCTURE; SUPERCONDUCTING; CABLE; SUPERCONDUCTING; POWDER; PULVERISE; HELD; SILVER; TUBE; FORMING; TWIST; MANNER; SILVER; MATRIX

Derwent Class: X12

International Patent Class (Main): H01B-012/10; H01B-013/00; H01L-039/14;

H01L-039/24

International Patent Class (Additional): H01F-006/06

# OXIDE SUPERCONDUCTING WIRE AND ITS MANUFACTURE, AND OXIDE SUPERCONDUCTING COIL

Patent number: JP7105753  
Publication date: 1995-04-21  
Inventor: OKURA KENGO; SATO KENICHI  
Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES;; JAPAN RES  
DEV CORP  
Classification:  
- international: H01B12/10; H01B13/00; H01F6/06  
- european: H01L39/14B; H01L39/24J10  
Application number: JP19930336852 19931228  
Priority number(s): JP19930336852 19931228; JP19930191374 19930802;  
JP19930198626 19930810

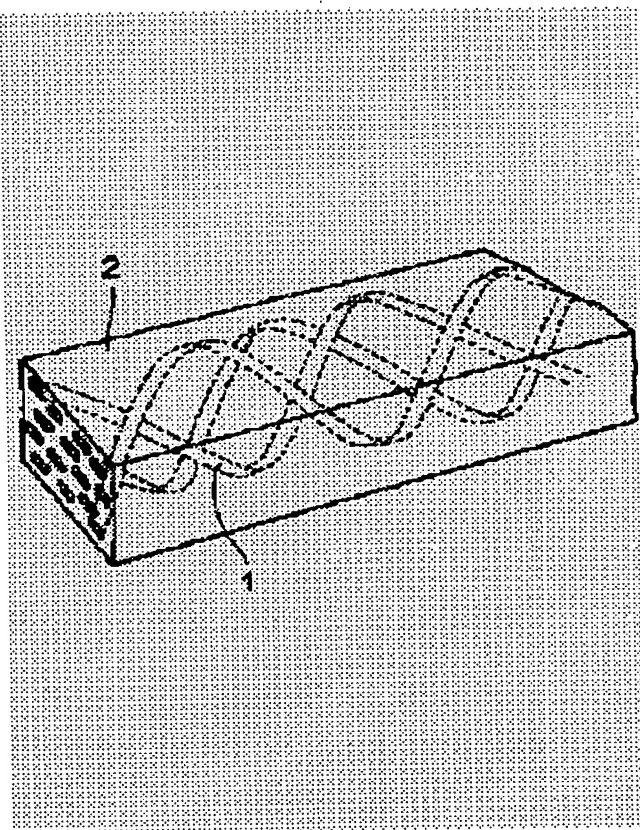
Also published as:



EP0638942 (A)  
EP0638942 (B)

## Abstract of JP7105753

**PURPOSE:** To obtain a coil having a high operation frequency and a long size oxide superconducting wire by making plural tape wire rods buried in a matrix in a twisted form along the longitudinal direction. **CONSTITUTION:** An oxide superconducting wire is composed by burying plural lines of filaments 1 which consist of an oxide superconductor in a matrix 2 which consists of silver or the like. The filaments 1 are twisted in a spiral form along the longitudinal direction of the wire rod. The twisting pitch length is necessary to make at the tape width or longer. When a long size wire rod is manufactured, a twisting process is applied after the wire drawing process in a wire drawing and a rolling process, so as to reduce the AC loss of a coil when the coil is formed. Furthermore, an oxide superconducting wire with a high strength and an excellent deformation characteristics can be obtained.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-105753

(43) 公開日 平成7年(1995)4月21日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
H01B 12/10  
13/00  
H01F 6/06

識別記号  
ZAA 7244-5G  
565 D 7244-5G  
ZAA

F I

H01F 5/08 ZAA B

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全10頁)

(21) 出願番号 特願平5-336852

(22) 出願日 平成5年(1993)12月28日

(31) 優先権主張番号 特願平5-191374

(32) 優先日 平5(1993)8月2日

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願平5-198626

(32) 優先日 平5(1993)8月10日

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(71) 出願人 390014535

新技術事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 大倉 健吾

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 佐藤 謙一

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

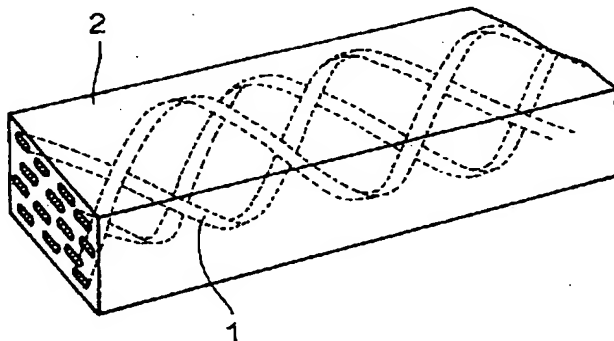
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイル

(57) 【要約】

【目的】 高い運転周波数を有するコイル、ケーブルのための長尺の酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルを提供する。

【構成】 酸化物超電導体からなるフィラメント1が、マトリクス2中に複数本埋込まれたテープ状の酸化物超電導線材であって、フィラメント1は、テープ線材の長手方向に沿って螺旋状に捩れていることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 酸化物超電導体からなるフィラメントが、マトリクス中に複数本埋込まれたテープ状の酸化物超電導線材であって、

前記フィラメントは、前記テープ線材の長手方向に沿って螺旋状に振れていることを特徴とする、酸化物超電導線材。

【請求項 2】 前記振れのピッチ長は、前記線材の幅以上である、請求項 1 記載の酸化物超電導線材。

【請求項 3】 前記マトリクスは、銀または銀合金である、請求項 1 記載の酸化物超電導線材。

【請求項 4】 前記複数のフィラメントはそれぞれが銀または銀合金で覆われ、

かつ、前記銀または銀合金で覆われたフィラメントの 1 本以上を前記線材の長手方向に取囲むように、室温での抵抗値が銀または銀合金よりも高く、かつ、 $10^{-4} \sim 10^{-10} \Omega \text{m}$  の金属または合金からなるバリア層を設けたことを特徴とする、請求項 1 記載の酸化物超電導線材。

【請求項 5】 酸化物超電導体からなるフィラメントがマトリクス中に複数本埋込まれたテープ状の酸化物超電導線材からなる超電導コイルであって、

前記フィラメントは、前記テープ線材の長手方向に沿って螺旋状に振れていることを特徴とする、酸化物超電導コイル。

【請求項 6】 酸化物超電導材料を主成分とする粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工を施した後嵌合して多芯線とし、伸線加工および圧延加工を施した後、さらに熱処理する、酸化物超電導線材の製造方法であって、

前記嵌合して多芯線とした後の伸線加工および圧延加工の工程において、伸線加工後、丸線の状態において、線材に振り加工を施した後圧延することを特徴とする、酸化物超電導線材の製造方法。

【請求項 7】 前記線材に振り加工を施した後、再度伸線してから圧延することを特徴とする、請求項 6 記載の酸化物超電導線材の製造方法。

【請求項 8】 前記圧延後の振りピッチ長を、前記圧延後の線材の幅以上とすることを特徴とする、請求項 6 記載の酸化物超電導線材の製造方法。

【請求項 9】 前記圧延した後の振り加工による傾斜角度を、前記線材方向に対して  $0.5^\circ$  以上とすることを特徴とする、請求項 6 記載の酸化物超電導線材の製造方法。

【請求項 10】 酸化物超電導材料を主成分とする粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工を施した後嵌合して多芯線とし、伸線加工および圧延加工を施した後、さらに熱処理する、酸化物超電導線材の製造方法であって、

前記嵌合して多芯線とする前の単芯線において、単芯線の表面または前記酸化物超電導材料と前記金属シースの

境界に、室温での抵抗値が前記金属シースよりも高く、かつ、 $10^{-4} \sim 10^{-10} \Omega \text{m}$  の金属または合金を配することを特徴とする、酸化物超電導線材の製造方法。

【請求項 11】 前記嵌合して多芯線とした後の伸線加工および圧延加工の工程において、伸線加工後、丸線の状態において、線材に振り加工を施すことを特徴とする、請求項 10 記載の酸化物超電導線材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルに関するものであり、特に、高い臨界電流密度と低い交流損失を有する酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、より高い臨界温度を示す超電導材料として、セラミック系のもの、すなわち、酸化物超電導材料が注目されている。その中で、イットリウム系は 90 K、ビスマス系は 110 K、タリウム系は 120 K 程度の高い臨界温度を示し、実用化が期待されている。

【0003】 これらの酸化物超電導材料においては、粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工および圧延加工を施した後、さらに熱処理することにより、高い臨界電流密度を有する単芯の酸化物超電導線材が得られている。

【0004】 また、酸化物超電導材料を主成分とする粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工を施した後嵌合して多芯線とし、伸線加工および圧延加工を施した後、さらに熱処理することにより、同様に高い臨界電流密度を有する酸化物超電導多芯線材が得られている。

【0005】 さらに、従来、このような酸化物超電導線材の製造において、圧延加工および熱処理のステップを複数回繰返すことにより、より高い臨界電流密度を有する酸化物超電導線材が得られることが知られている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 酸化物超電導線材を交流用のケーブルやマグネットに応用する際には、高い臨界電流に加えて、低い交流損失、高強度および優れた曲げ歪み特性を有することが必要である。

【0007】 前述した従来の方法により作製された単芯および多芯の酸化物超電導線材の臨界電流密度は、 $30000 \text{ A/cm}^2$  以上の高い値が得られている。

【0008】 しかしながら、コイル状に巻いた状態で交流通電を行なうと、交流ロス発熱が生じる。直流通電の場合には、電流は、セラミック部だけ流れるのに対し、交流の場合は、金属シースとセラミック間にも誘導電流が流れ、金属シースの常電導抵抗によるジュール発熱が生じるためである。そして、コイル全体の温度が上昇するため、臨界電流密度が低下してしまうという問題があ

った。

【0009】これらのことから、従来の方法で製造されたコイルの運転周波数は、0.1 Hz 程度の値しか得られなかった。

【0010】この発明の目的は、上述の問題を解決し、高い運転周波数を有するコイル、ケーブルのための長尺の酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルを、提供することにある。

【0011】また、この発明の他の目的は、高い運転周波数を有する高強度の、コイル、ケーブルのための長尺の酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルを、提供することにある。

【0012】この発明のさらに他の目的は、高い運転周波数と優れた曲げ歪み特性を有する、コイル、ケーブルのための長尺の酸化物超電導線材およびその製造方法ならびに酸化物超電導コイルを、提供することにある。

【0013】  
【課題を解決するための手段】請求項1の発明による酸化物超電導線材は、酸化物超電導体からなるフィラメントが、マトリクス中に複数本埋込まれたテープ状の酸化物超電導線材であって、フィラメントは、テープ線材の長手方向に沿って螺旋状に振れていることを特徴としている。

【0014】請求項2の発明による酸化物超電導線材は、請求項1の発明において、振れのピッチ長が線材の幅以上である。

【0015】請求項3の発明による酸化物超電導線材は、請求項1の発明において、マトリクスが銀または銀合金である。

【0016】請求項4の発明による酸化物超電導線材は、請求項1の発明において、複数のフィラメントはそれぞれが銀または銀合金で覆われ、かつ、銀または銀合金で覆われたフィラメントの1本以上を線材の長手方向に取囲むように、室温での抵抗値が銀または銀合金よりも高く、かつ、 $10^{-4} \sim 10^{-10} \Omega\text{m}$ の金属または合金からなるバリア層を設けたことを特徴としている。

【0017】また、さらに好ましくは、バリア層は、室温での抵抗値が $10^{-7} \sim 10^{-9} \Omega\text{m}$ の金属または合金からなるとよい。

【0018】請求項5の発明による酸化物超電導コイルは、酸化物超電導体からなるフィラメントがマトリクス中に複数本埋込まれたテープ状の酸化物超電導線材からなる超電導コイルであって、フィラメントは、テープ線材の長手方向に沿って螺旋状に振れていることを特徴としている。

【0019】請求項6の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、酸化物超電導材料を主成分とする粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工を施した後、さらに熱処理する、酸化物超電導線材の製造方法で

あって、嵌合して多芯線とした後の伸線加工および圧延加工の工程において、伸線加工後、丸線の状態において、線材に振り加工を施した後圧延することを特徴としている。

【0020】請求項7の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、請求項6の発明において、線材の振り加工を施した後、再度伸線してから圧延することを特徴としている。

【0021】請求項8の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、請求項6の発明において、圧延後の振りピッチ長を、圧延後の線材の幅以上とすることを特徴としている。

【0022】請求項9の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、請求項6の発明において、圧延した後の振り加工による傾斜角度を、線材方向に対して $0.5^\circ$ 以上にすることを特徴としている。

【0023】なお、ここで傾斜角度とは、図9に示すように、線材の最外層に位置するフィラメント51と、線材の長手方向に沿った中心線50とがなす、最大の角度 $\alpha$ を言う。

【0024】請求項10の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、酸化物超電導材料を主成分とする粉末を熱処理した後金属シースにて被覆し、伸線加工を施した後嵌合して多芯線とし、伸線加工および圧延加工を施した後、さらに熱処理する、酸化物超電導線材の製造方法であって、嵌合して多芯線とする前の単芯線において、単芯線の表面または酸化物超電導材料と金属シースの境界に、室温での抵抗値が金属シースよりも高く、かつ、 $10^{-4} \sim 10^{-10} \Omega\text{m}$ の金属または合金を配することを特徴としている。

【0025】また、さらに好ましくは、単芯線の表面または酸化物超電導材料と金属シースの境界に配される金属または合金は、室温での抵抗値が $10^{-7} \sim 10^{-9} \Omega\text{m}$ であるとよい。

【0026】請求項11の発明による酸化物超電導線材の製造方法は、請求項10の発明において、嵌合して多芯線とした後の伸線加工および圧延加工の工程において、伸線加工後、丸線の状態において、線材に振り加工を施すことを特徴としている。

【0027】

【作用】請求項1の発明によれば、マトリクス中に埋込まれた酸化物超電導体からなるフィラメントが、線材の長手方向に沿って螺旋状に振れている。そのため、マトリクスとフィラメント間に流れる誘導電流は、振りピッチ間ごとに分断され、小ループとなって流れ、電流の大きさも制限される。その結果、マトリクスのジュール発熱を避けることができる。なお、この作用に関しては、以下、図を用いて詳しく説明する。

【0028】図8は、従来の酸化物超電導多芯線を示す斜視図である。図8を参照して、この多芯線は、銀マト

リクス2内に酸化物超電導体からなるフィラメント11a, 11b, 11c, 11dが埋込まれて構成されている。

【0029】このように構成される多芯線が、たとえばコイルにより発生される磁場変化 $dB/dt$ を受けると、フィラメント11a, 11b間には、誘導起電力により、通電電流以外に大きな誘導電流ループ13ができ、大きなループ電流 $I$ が流れる。そのため、銀マトリクス2の超電導抵抗による発熱が周波数とともに $(dB/dt)^2$ に比例して増大する。

【0030】これに対して、図7は、本願発明の一例の酸化物超電導多芯線を示す斜視図である。

【0031】図7を参照して、この多芯線は、銀マトリクス2内に酸化物超電導体からなるフィラメント1a, 1b, 1c, 1dが埋込まれてなるが、各フィラメント1a, 1b, 1c, 1dは、多芯線の長手方向に沿って螺旋状に振れている。

【0032】このように構成される多芯線が同様に磁場変化 $dB/dt$ を受けると、誘導電流ループ3は、フィラメント1a, 1bの振りピッチの長さ $L$ に制限される。そのため、ループ電流 $I$ の大きさも小さくなり、交流損は振りピッチの長さ $L$ の3乗に比例して小さくなる。

【0033】請求項2の発明によれば、振れのピッチ長は、線材の幅以上である。そのため、振り加工や圧延、伸線加工時に、線材が破断することがない。

【0034】請求項3の発明によれば、マトリクスは銀または銀合金である。この銀または銀合金からなるマトリクスは、安定化材として作用する。なお、前述の交流損は、マトリクスの抵抗値に反比例する。そのため、交流損を低減させるためには、銀合金を用いて高抵抗のマトリクスとすることが好ましい。

【0035】請求項4の発明によれば、フィラメントを線材の長手方向に取囲むように、高抵抗のバリア層が設けられている。このバリア層は、単芯線の段階において、薄く表面または酸化物超電導材料と金属シースの境界に配すればよく、その後の伸線、振り加工および圧延加工中に加工硬化を起こし、断線を起こすことはない。また、適度なバリア材の加工硬化により、仕上りのテープ材の引張り、曲げ強度が向上し、コイルで通電したときに高い電磁応力にも耐え、高強度の酸化物超電導線材を得ることができる。

【0036】請求項5の発明による超電導コイルは、マトリクス中に埋込まれた酸化物超電導体からなるフィラメントが、線材の長手方向に沿って螺旋状に振れているテープ状超電導線材からなる。このように構成される超電導線材は、前述のようにマトリクスのジュール発熱が低減される。そのため、運転周波数の高いコイルが得られる。

【0037】請求項6の発明によれば、この振り加工を

施すことによって、金属シースとセラミック間に流れる誘導電流は、振り加工のピッチ間ごとに分断され、小ループとなって流れ、電流の大きさも制限されるため、金属シースのジュール発熱を避けることができ、従来のようにコイル化したときの運転周波数を上げることができる。また、この振り加工は、原料粉末を金属シースにて被覆した後、伸線加工を施した後嵌合して多芯線とし、伸線加工後、圧延加工を施す前に行なわれる。そのため、圧延加工後のフィラメントが内部で乱れを生じることとはなく、容易に圧延できる。

【0038】請求項7の発明によれば、伸線加工後振り加工を施し、再び伸線するため、振り加工時に生じた線のうねりは消される。そのため、圧延した後のテープの蛇行はなく、均一に圧延できる。なお、テープ内のフィラメントの振りは、戻ることではない。

【0039】請求項8の発明によれば、振りピッチ長を圧延後のテープ幅以上とする。そのため、振り加工や圧延、伸線加工時に、線材が破断することがない。

【0040】請求項9の発明によれば、振り加工により、フィラメントは、長手方向にその配置を直接的に変えるだけで、フィラメントが不均一加工されることはない。さらに、フィラメントは、テープの長手方向に対し、振り加工を施すことにより角度をもって配置されるため、テープを曲げた時のフィラメントの曲げ歪みは、結果的に小さくすむため、振り加工した方が臨界電流に対するテープの歪み特性は改善される。振り角度が $0.5^\circ$ より小さい場合は、振ったことによる効果はなく、 $0.5^\circ$ 以上でこの効果は生じる。

【0041】請求項10の発明によれば、単芯線の表面または酸化物超電導材料と金属シースの境界に、高抵抗の金属または合金からなるバリア層が配される。このフィラメント間間に配された高抵抗のバリアは、単芯線の段階において、薄く表面または酸化物超電導材料と金属シースの境界に配すればよく、その後の伸線、振り加工および圧延加工中に加工硬化を起こし、断線を起こすことはない。また、適度なバリア材の加工硬化により、仕上りのテープ材の引張り、曲げ強度が向上し、コイルで通電したときに高い電磁応力にも耐え、高強度の酸化物超電導線材を得ることができる。

【0042】請求項11の発明によれば、振り加工を施すことによって、前述のように金属シースのジュール発熱を避けることができる。

【0043】

【実施例】図1～図4は、本発明による酸化物超電導線材の製造工程を示す図である。

【0044】以下、図を参照して、本願発明に従う酸化物超電導線材の製造方法について説明する。

【0045】（実施例1） $Bi_2O_3$ 、 $PbO$ 、 $SrCO_3$ 、 $CaCO_3$ 、および $CuO$ を用いて、 $Bi:Pb:Sr:Ca:Cu=1.81:0.40:1.98:$

2. 21 : 3. 03の組成比になるように、これらを配合した。この配合した粉末を、大気中において、750℃で12時間、800℃で8時間、さらに、減圧雰囲気1 Torrにおいて、760℃で8時間、の順に熱処理を施した。なお、各熱処理後において、粉碎を行なった。このような熱処理および粉碎を経て得られた粉末を、さらに、ボールミルにより粉碎し、サブミクロンの粉末を得た。この粉末を800℃で2時間熱処理を施した後、外径12mm、内径9mmの銀パイプ中に充填した。

【0046】この銀パイプ中に充填された粉末を、1mmまで伸線加工し、素線を作製した。その後、図1に示すように、この素線4を外径12mm、内径9mmの銀パイプ5中に嵌合して、61芯の多芯線とした。次に、図2に示すように、この線を直径1.0mmになるまでさらに伸線加工した。図2を参照して、このようにして得られた多芯線は、銀からなるマトリクス6中に、超電導材料からなるフィラメント7が、61本埋込まれて構成される。

【0047】続いて、図3に示すように、この伸線加工後の多芯線材を、丸線の状態において、振りピッチが、各々500mm、100mm、50mm、10mmになるように振り加工を施した後、0.98mmφまで軽く伸線加工を施した。これを、テープ幅3.0mm、厚さ0.22mmになるように圧延加工した後、850℃で50時間の熱処理を施した。その後、さらに、厚さ0.20mmになるまで圧延加工し、850℃で50時間の熱処理を施した。

【0048】図4は、このようにして得られた、本発明の一実施例の酸化物超電導線材を示す斜視図である。

【0049】図4を参照して、この酸化物超電導線材は、銀からなるマトリクス2中に、酸化物超電導体からなるフィラメント1が、61本埋込まれて構成される。また、フィラメント1は、線材の長手方向に沿って螺旋状に振れている。

【0050】また、図5は、図4に示す酸化物超電導線材の構成を概略的に示す横断面図である。図5を参照して、この酸化物超電導線材は、銀からなるマトリクス2中に、酸化物超電導体からなるフィラメント1が埋込まれている。なお、マトリクス2は、安定化材として作用する。

【0051】同様に、振りピッチの異なる線材を作成した後、各線材から40mm長の短尺を切出し、臨界電流 $I_c$ の測定を行ない、振り加工が $I_c$ に及ぼす影響を調べた。

【0052】その結果、振りピッチ長が各々500、100、50、10mmのものに対して、臨界電流は、各々21A、20A、19A、17Aであり、ピッチ減少に伴って若干の低下はあるものの大きな臨界電流の減少は見られなかった。なお、この結果は、直流通電を行な

った場合のものである。

【0053】このようにして、振りピッチの違う長さ13mの長尺の酸化物超電導多芯線材を4本作製し、得られた線材をパンケーキ状に巻線した。コイルは、外径100mmφ、内径40mmφで、高さ6mmとした。このコイル形状のもので使用した超電導線の振りピッチ長の異なるものを4個作製した。

【0054】このようにして得られたコイルについて、図10に示すような装置を用いて、交流ロスの測定および比較を行なった。以下、測定方法について、詳しく説明する。

【0055】図10参照して、交流電源30を用いて、交流電流を、クライオスタット32中に充填された液体窒素中でコイル31に流した。なお、交流電流の実効値 $i_{in}$ は5A、周波数 $f$ は50Hzとした。そして、このときにコイル31の両端に発生するコイル電圧 $v_{out}$ およびコイル電流 $i_{out}$ を測定した。なお、コイル電圧 $v_{out}$ は、インダクタンス分の電圧を除去し、抵抗成分のみを測定するため、ロックインアンプ33の0°位相出力電圧により測定した。また、コイル電流は、交流電流計34を用いて測定した。

【0056】このようにして得られたコイル電流値およびコイル電圧値を用いて、以下の式により、交流ロスを算出した。

$$\text{交流ロス} = (\text{コイル実効電流値}) \times (\text{コイル電圧})$$

【0057】以上の測定の結果、振りピッチ長が、500、100、50、10mmに対し、交流ロスは、各々210mW、170mW、130mW、20mWとなった。

【0058】この結果から明らかなように、振りピッチの減少とともに交流ロスが顕著に減少することがわかる。

【0059】一方、伸線加工後に振り線加工を施さない他は同様の条件で、長さ50mの長尺の酸化物超電導線材を作製した。得られた線材を同様にダブルパンケーキ状に巻線し、同様に交流ロス測定を行なったところ、300mWであった。

【0060】このことから、長尺線材を製造する際、伸線および圧延加工工程において、伸線後振り加工を施すことにより、コイル化した場合に、コイルの交流損失を大幅に減少させることができる。

【0061】さらに、振りピッチを10mm以下のもので、3mmのものを50m作製しようとしたところ、数箇所では振り加工中断線が発生し、振り加工が不可となることがわかった。

【0062】このことから、実用的には、振りピッチ長は、テープ幅以上にすることが必要である。

【0063】(実施例2)  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{PbO}$ 、 $\text{SrCO}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、および $\text{CuO}$ を用いて、 $\text{Bi}:\text{Pb}:\text{Sr}:\text{Ca}:\text{Cu}=1.81:0.40:1.98:$

2. 21 : 3. 03の組成比になるように、これらを配合した。この配合した粉末を、大気中において、750℃で12時間、800℃で8時間、さらに、減圧雰囲気1 Torrにおいて、760℃で8時間、の順に熱処理を施した。なお、各熱処理後において、粉碎を行なった。このような熱処理および粉碎を経て得られた粉末を、さらに、ボールミルにより粉碎し、サブミクロンの粉末を得た。この粉末を800℃で2時間熱処理を施した後、外径12mm、内径11mmの銀パイプ中に充填した。

【0064】この銀パイプの外側に、さらに、10%金添加銀パイプで、外径12.3mmφ、内径12mmφのパイプを被せた。

【0065】この二重パイプ中に充填された粉末を、1mmで伸線加工した後、外径12mm、内径9mmの銀パイプ中に嵌合して、61芯の多芯線とした。この線をさらに直径1.0mmになるまでさらに伸線加工した。

【0066】この伸線加工後の多芯線材を、丸線の状態において、振りピッチが、各々500mm、100mm、50mm、10mmになるように振り加工を施した後、0.98mmφまで軽く伸線加工を施した。これを、厚さ0.22mmになるように圧延加工した後、850℃で50時間の熱処理を施した。

【0067】図6は、このようにして得られた本発明の他の実施例の酸化物超電導線材の構成を概略的に示す横断面図である。

【0068】図6を参照して、この酸化物超電導線材は、銀からなるマトリクス2中に、酸化物超電導体からなるフィラメント1が埋込まれている。また、フィラメント1のまわりには、フィラメント1を取囲むように、10%金添加銀からなるバリア層8が形成されている。

【0069】同様にして、振りピッチの異なる線材を作製した後、各線材から400mm長の短尺を切出し、臨界電流I<sub>c</sub>の測定を行ない、振り加工がI<sub>c</sub>に及ぼす影響を調べた。

【0070】その結果、振りピッチ長が各々500、100、50、10mmのものに対して、臨界電流は、各々21A、20A、19A、17Aであり、ピッチ減少に伴って若干の低下はあるものの大きなI<sub>c</sub>の減少は見られなかった。なお、この結果は、直流通電を行なった場合のものである。

【0071】このようにして、振りピッチの違う長さ12mの長尺の酸化物超電導多芯線材を4本作製し、得られた線材をパンケーキ状に巻線した。コイルは、外径100mmφ、内径40mmφで、高さ6mmとした。このコイル形状のもので使用した超電導線の振りピッチ長の異なるものを4個作製した。

【0072】このようにして得られたコイルについて、実施例1と同様に、図10に示すような装置を用いて、交流ロスの測定および比較を行なった。すなわち、コイ

ルに50Hzの周波数で、実効値5Aの交流電流を液体窒素中で流し、コイル両端に発生する電圧のうち、抵抗成分のみをロックインアンプの0°位相信号により検出し、交流ロスの比較を行なった。

【0073】その結果、振りピッチ長が、500、100、50、10mmに対し、交流ロスは、各々74mW、40mW、27mW、3mWとなった。

【0074】この結果から明らかなように、振りピッチの減少とともに交流ロスが顕著に減少することがわかる。

【0075】一方、伸線加工後に振り線加工を施さず、高抵抗バリアをいれない他は同様の条件で、長さ50mの長尺の酸化物超電導線材を作製した。得られた線材を同様にダブルパンケーキ状に巻線し、同様に交流ロス測定を行なったところ、300mWであった。

【0076】このことから、長尺線材を製造する際、伸線および圧延加工工程において、伸線後振り加工を施すことにより、コイル化した場合に、コイルの交流損失を大幅に減少させることができる。

【0077】(実施例3) Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PbO、SrCO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>およびCuOを用いて、Bi:Pb:Sr:Ca:Cu=1.81:0.40:1.98:2.21:3.03の組成比になるように、これらを配合した。この配合した粉末を、大気中において750℃で12時間、800℃で8時間、さらに、減圧雰囲気1 Torrにおいて、760℃で8時間、の順に熱処理を施した。なお、各熱処理後において、粉碎を行なった。このような熱処理および粉碎を経て得られた粉末を、さらに、ボールミルにより粉碎し、サブミクロンの粉末を得た。この粉末を800℃で2時間熱処理を施した後、外径12mm、内径9mmの銀パイプ中に充填した。

【0078】この銀パイプ中に充填された粉末を、1mmで伸線加工した後、外径12mm、内径9mmの銀パイプ中に嵌合して、61芯の多芯線とした。この線をさらに直径1.0mmになるまでさらに伸線加工した。

【0079】この伸線加工後の多芯線材を、振りピッチが、各々500mm、100mm、50mm、10mmになるように振り加工を施した後、0.98mmφまで軽く伸線加工を施した。これを、テープ幅3.0mm、厚さ0.22mmになるように圧延加工した後、850℃で50時間の熱処理を施した。その後、さらに、厚さ0.20mmになるまで圧延加工し、850℃で50時間の熱処理を施した。その後、振りピッチの異なる線から、40mm長の短尺を切出し、臨界電流I<sub>c</sub>の測定を行ない、振り加工がI<sub>c</sub>に及ぼす影響を調べた。

【0080】その結果、振りピッチ長が各々500、100、50、10mmのものに対し、臨界電流は、各々21A、20A、19A、17Aであり、ピッチ減少に伴って若干の低下はあるものの大きなI<sub>c</sub>の減少は見られなかった。なお、この結果は、直流通電を行なった場

合のものである。

【0081】さらに、振りピッチが500、300、200、100mmのものについて、振り角度を調べたところ、各々0.3°、0.5°、0.9°、1.7°であった。このようなテープを用いて、20mmの曲げ径でIcの歪み特性を調べた。

【0082】歪み前のIc(Ic0)と歪み後のIcの比率K( $K = Ic / Ic0$ )により、振りピッチの影響を調べた結果、振り角度が各々0.3°、0.5°、0.9°、1.7°のものに対し、Kは各々0.7、0.85、0.9、0.9となり、振り角度が大きくなるほど、歪み特性が改善されることが認められ、0.5°以上にすると効果があることがわかった。

【0083】さらに、振りピッチが各々500、100、50、10mmの長さ13mの長尺の酸化物超電導多芯線材を4本作製し、得られた線材をパンケーキ状に巻線した。コイルは、外径100mmφ、内径40mmφで、高さ6mmとした。コイル形状のもので使用した超電導線の振りピッチ長の異なるものを4個作製した。

【0084】このようにして得られたコイルについて、実施例1と同様に、図10に示すような装置を用いて、交流ロスの測定および比較を行なった。すなわち、コイルに50Hzの周波数で、実効値5Aの交流電流を液体窒素中で流し、コイル両端に発生する電圧のうち、抵抗成分のみをロックインアンプの0°位相信号により検出し、交流ロスの比較を行なった。

【0085】その結果、振りピッチ長が、500、100、50、10mmに対し、交流ロスは、各々190mW、180mW、120mW、10mWとなった。

【0086】この結果から明らかなように、振りピッチの減少とともに交流ロスが顕著に減少することがわかる。

【0087】一方、伸線加工後に振り線加工を施さない他は同様の条件で、長さ50mの長尺の酸化物超電導線材を作製した。得られた線材を同様にダブルパンケーキ状に巻線し、同様に交流ロス測定を行なったところ、300mWであった。

【0088】このことから、長尺線材を製造する際、伸線および圧延加工工程において、伸線後振り加工を施すことにより、コイル化した場合に、曲げ特性が優れ、Icの劣化が少なく、コイルの交流損失を大幅に減少させることができる。

【0089】(実施例4) Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PbO、SrCO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、およびCuOを用いて、Bi:Pb:Sr:Ca:Cu=1.81:0.40:1.98:2.21:3.03の組成比になるように、これらを配合した。この配合した粉末を、大気中において、750℃で12時間、800℃で8時間、さらに、減圧雰囲気1Torrにおいて、760℃で8時間、の順に熱処理を施した。なお、各熱処理後において、粉碎を行な

た。このような熱処理および粉碎を経て得られた粉末を、さらに、ボールミルにより粉碎し、サブミクロンの粉末を得た。この粉末を800℃で2時間熱処理を施した後、外径12mm、内径9mmの銀+10%金合金パイプ中に充填した。

【0090】この銀合金パイプ中に充填された粉末を、1mmまで伸線加工した後、外径12mm、内径9mmの銀+10%金合金パイプ中に嵌合して、61芯の多芯線とした。この線をさらに直径1.0mmになるまで伸線加工した。

【0091】この伸線加工後の多芯線材を、丸線の状態において、振りピッチが、各々500mm、100mm、50mm、10mmになるように振り加工を施した後、0.98φまで軽く伸線加工を施した。これを、厚さ0.22mmになるように圧延加工した後、850℃で50時間の熱処理を施した。その後、さらに、厚さ0.20mmになるまで圧延加工し、850℃で50時間の熱処理を施した。その後、振りピッチの異なる線から400mm長の短尺を切出し、臨界電流Icの測定を行ない、振り加工がIcに及ぼす影響を調べた。

【0092】その結果、振りピッチ長が各々500、100、50、10mmのものに対して、臨界電流は、各々21A、20A、19A、17Aであり、ピッチ減少にともなう若干の低下はあるものの大きなIcの減少は見られなかった。なお、この結果は、直流通電を行なった場合のものである。

【0093】このようにして、振りピッチの違う長さ13mの長尺の酸化物超電導多芯線材を4本作製し、得られた線材をパンケーキ状に巻線した。コイルは、外径100mmφ、内径40mmφで、高さ6mmとした。このコイル形状のもので使用した超電導線の振りピッチ長の異なるものを4個作製した。

【0094】このようにして得られたコイルについて、実施例1と同様に、図10に示すような装置を用いて、交流ロスの測定および比較を行なった。すなわち、コイルに50Hzの周波数で、実効値5Aの交流電流を液体窒素中で流し、コイル両端に発生する電圧のうち、抵抗成分のみをロックインアンプの0°位相信号により検出し、交流ロスの比較を行なった。

【0095】その結果、振りピッチ長が、500、100、50、10mmに対し、交流ロスは、各々80mW、35mW、33mW、5mWとなった。

【0096】この結果から明らかなように、振りピッチの減少とともに交流ロスが顕著に減少することがわかる。

【0097】一方、伸線加工後に振り線加工を施さない他は同様の条件で、長さ50mの長尺の酸化物超電導線材を作製した。得られた線材を同様にダブルパンケーキ状に巻線し、交流ロス測定を行なったところ、300mWであった。

【0098】このことから、長尺線材を製造する際、伸線および圧延加工工程において、伸線後振り加工を施すことにより、コイル化した場合に、コイルの交流損失を大幅に減少させることができる。

【0099】（実施例5）本発明の実施例による金属シースにて被覆されたテープ状超電導線材を用いて、表1に示す仕様の小コイルを作製し、表2に示す通電条件に従い交流通電特性を調べた。なお、金属シースとしては、銀または銀+10%Auを用いた。また、振りピッチ長は、20mmおよび50mmとし、比較のため振り加工を施さないものも作製した。

【0100】

【表1】

コイル仕様

コ イ ル	内 径	20mmφ
	外 径	40mmφ
	高 さ	12mm
	ダブルパンチ	2枚
テ ー プ 線 材	シース 金属	銀又は銀+10%Au
	幅	2.7mm
	厚 み	0.72mm
	長 さ	3m/ダブルパンチ

振りピッチ長	交 流 ロ ス	
	金属シースに銀を用いた場合	金属シースに銀+10%Auを用いた場合
20mm	100mW	10mW
50mm	150mW	20mW
振り無	200mW	70mW

【0104】なお、以上の実施例に関する開示は、本発明の単なる具体例にすぎず、本発明の技術的範囲を何ら制限するものではない。すなわち、本発明の適用はビスマス系超電導線材の製造に限られるものではなく、タリウム系およびイットリウム系超電導線材の製造に関しても適用できる。

【0105】

【発明の効果】本発明によれば、以上説明したように、交流損失の低い酸化物超電導線材が得られる。そのため、この発明により製造された酸化物超電導線材は、0.1Hz以上の商用周波数を含め、高い周波数で運転する酸化物超電導マグネット、ケーブルへの適用が可能である他、各種の誘導モータ、同期モータ等の交流モータや変圧器等のコイル用途にも幅広く応用することができる。

【0106】また、本発明によれば、交流損失が低いだけでなく、高強度で歪み特性の優れた酸化物超電導線材を得ることもできる。

【0101】

【表2】

通電条件

周波数	30Hz
通電電流	10A
ピーク磁場	±320 Gauss
測定温度	77K（液体窒素中）

【0102】このようにして、実施例1と同様に図10に示す装置を用いて測定された交流ロスの測定結果を、表3に示す。

【0103】

【表3】

【0107】なお、振りピッチ長は、実際の製造上小さくすることは難しいが、銀合金を使用すれば、振りピッチを小さくしたのと同じ特性の効果をを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による酸化物超電導線材の製造工程を示す図である。

【図2】本発明による酸化物超電導線材の製造工程を示す図である。

【図3】本発明による酸化物超電導線材の製造工程を示す図である。

【図4】本発明の一実施例の酸化物超電導線材を示す斜視図である。

【図5】図4に示す酸化物超電導線材の構成を概略的に示す横断面図である。

【図6】本発明の他の実施例の酸化物超電導線材の構成を概略的に示す横断面図である。

50 【図7】本発明の一例の酸化物超電導多芯線を示す斜視

図である。

【図 8】従来の酸化物超電導多芯線を示す斜視図である。

【図 9】本発明の超電導線材における傾斜角度を説明するための図である。

【図 10】酸化物超電導線材について交流ロスの測定を行なうための装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

1, 1 a, 1 b, 1 c, 1 d フィラメント

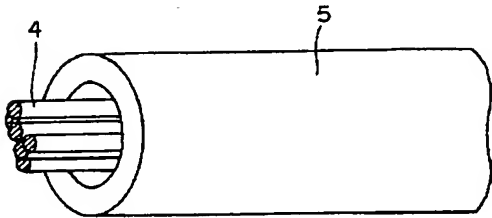
2 マトリクス

8 バリア層

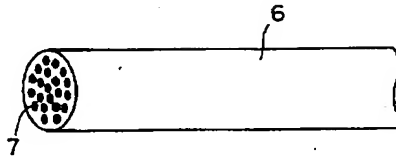
3 1 コイル

なお、各図中、同一符号は、同一または相当部分を示す。

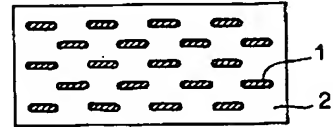
【図 1】



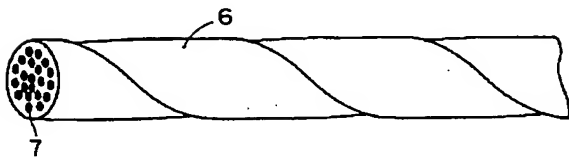
【図 2】



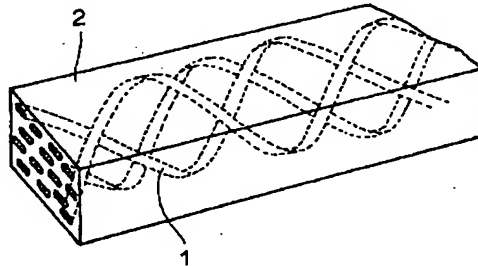
【図 5】



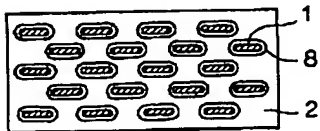
【図 3】



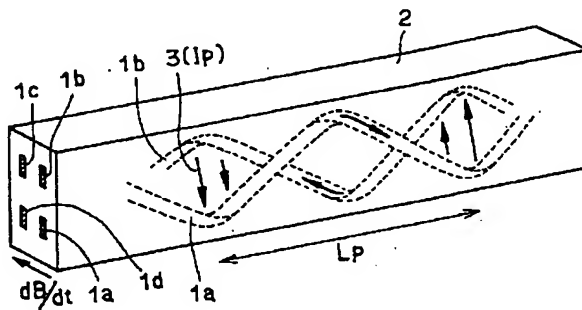
【図 4】



【図 6】

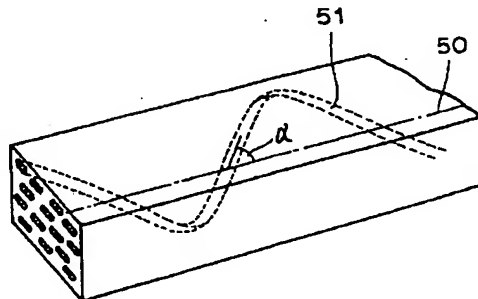
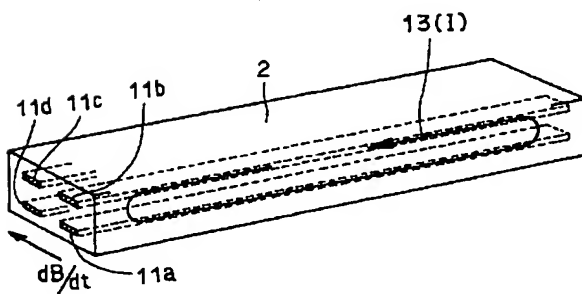


【図 7】



【図 8】

【図 9】



【図 10】

